

LANDSAT TM 資料에 의한 嶺南地域의 鑛山帶調查 및 應用方法 開發(III)

姜必鍾 · 智光薰
韓國動力資源研究所

(1989년 8월 15일 받음; 1989년 8월 30일 수리)

Remote Sensing Application for the Mineralized Zone in Ryeongnam Area Using LANDSAT TM Data(III)

Pil Chong Kang and Kwang Hoon Chi
Korea Institute of Energy and Resources(KIER)
(Received August 15, 1989 ; Accepted August 30, 1989)

Abstract

The purpose of this study is to investigate ways to use Landsat TM data for geological mapping and mineralized area detection. The study was carried out in Kyongju-Pohang area where toseki and bentonite mines are distributed.

Rock samples of 18 granites, andesites, toseki, betonites, sedimentary rocks and altered rocks in the study area were collected for the study. The radiometric measurement of the rock samples were carried out with a radiometer in the laboratory and in the field. The Landsat TM bands 2, 3, 4, 5, 7 were used for the measurement. The radiometric characteristics of the samples were mainly processed by the principal component analysis.

It was found that the principal component analysis of the radiometric characteristics of geologic materials is very useful for the detection of the alteration of rocks and grade of mineral contents. It is expected that the technique can be used in the future for the efficient exploration of minerals in this country and abroad.

1. 序 論

遠隔探查技術에 의해 蒐集되는 地表面에 대한 各種 情報은 주로 自然資源과 地球環境에 관한 것으로 人類의 生活과 直接的으로 關聯되어 있어 그 重要性이 매우 크기 때문에, 各國에서는 遠隔探查技術을 利用하여 地質 및 鑛物資源, 海洋, 林業, 農業, 氣象 및 環境分野 등에 活用하고 있으며, 또한 그 有效性이 證明되고 있다. 특히 우리나라는 急速한 經濟發展에 의한 産業化로, 원활한 資源의 供給이 이루어지기 위해서는 國內外에서 必要한 資源을 開發, 確保할 必要가 있다.

本 研究에서는 慶州-浦項地域에 分布되어 있는 陶石과 벤토나이트 鑛床에 대한 衛星資料 應用技術을 開發하고자 하였는데, 이들 鑛物들은 低溫性 鑛化溶液에 의한 變質鑛物이므로, 蠟石 등과는 다른 成因을 가지고 있어 研究對象으로 選定하였다.

금번 研究는 지금까지 使用되지 않았던 Principal Component Analysis 技法을 適用하여 既存의 ratio 處理技法과 HHRR(Hand Held Ratioing Radiometer)에 의한 岩石의 分光反射率 測定分析 結果를 比較하였다.

2. 地質概要

本 研究地域은 慶尙盆地의 東南部に 해당되는 慶州-浦項 一圓으로 地質은 크게 陸成堆積層인 河陽層群과 火山岩 複合體인 榆川層群, 上記 層群을 貫入한 佛國寺 花崗岩類 및 第3紀 堆積層 등으로 構成되어 있는데, Fig.1에 나타난 것처럼 各層의 特徵은 다음과 같다.

大邱層은 研究地域에 分布하고 있는 層中 最古期層이며, Fig.1에 나타난 것처럼 주로 中央部에 帶狀으로 分布하고 있으며, 東南部에서 佛國寺 花崗岩에 의해 貫入당하여 있다.

本 層은 주로 赭色과 灰色 또는 綠灰色의 shale 및 砂岩으로 構成되어 있으며, 火成岩이 貫入한 接觸部에서는 hornfels化되었다.

乾川里層은 本 域 西部에 分布하고 있으며, 毛良斷層 東部, 月城郡 內南面(望星里, 돌꼬지)一帶에서는 佛國寺 花崗岩에 의해 貫入당하여 있고, 毛良斷層 西部에서는 주로 安山岩에 의해 貫入되어 있다. 그리고 花崗岩, 閃綠岩 및 安山岩 등이 貫入한 지역은 hornfels化되어 高地形을 形成하고 있다.

本 域의 南, 北部에서 넓게 分布하고 있는 安山岩은 大邱層과 乾川里層을 貫入하고, 佛國寺 花崗岩, 閃綠岩, 珪長岩, 石英安山岩에 의해 貫入당하여 있는데, 安山岩은 慶州實業專門大學 附近에 分布되어 있는 陶石의 母岩으로 추정되어진다.

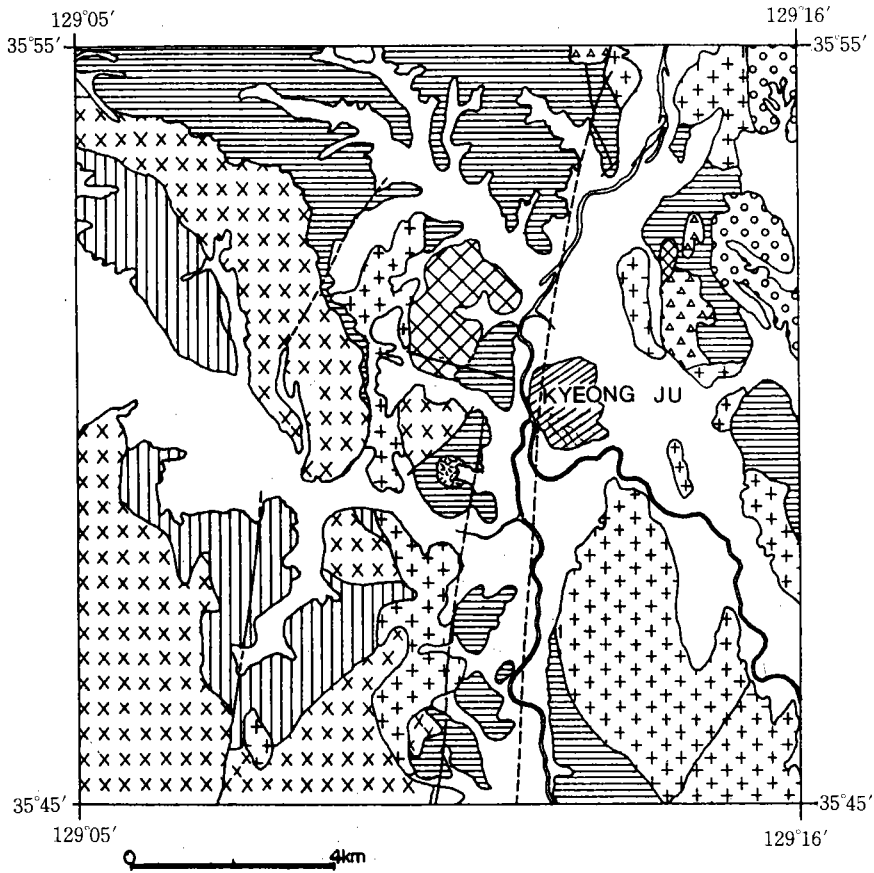
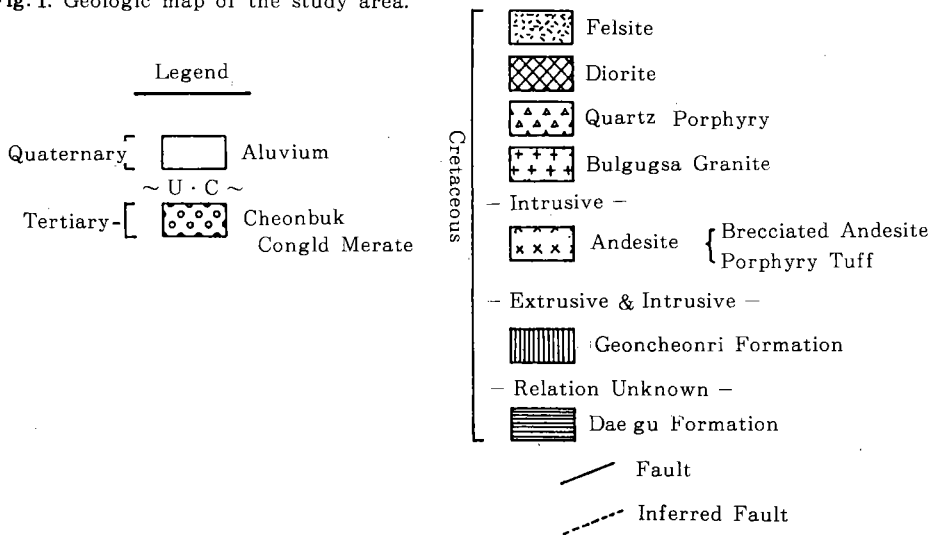


Fig. 1. Geologic map of the study area.



佛國寺 花崗岩은 中部와 東部に 分布되어 있고, 大邱層을 貫入하며, 月城郡 內南面 오가리에 서는 斷層으로 斷切되어 있다.

그리고 本 域에는 여러 개의 構造線이 發達되어 있는데 이는 鑛化作用을 준 鑛化溶液의 通路 役割을 하였을 것으로 생각되며, 地質圖에 表示된 큰 斷層으로는 東部に 梁山斷層이 있으며 그 이외에 毛良斷層, 密陽斷層 등이 있다.

3. 測定對象物의 特徵

3.1 岩石學的 特徵

實驗室 內에서 本 研究對象地域에 分布하고 있는 岩石의 分光反射를 測定하기 위하여 Fig. 2에 表示된 sampling場所에서 各 岩石別로 2~3個의 sample을 採取하여 이들 중 各 地質을 代表할 수 있는 岩石 18개를 測定對象物로 resampling하였으며, sampling에 있어서는 다음과 같은 事項을 고려하였다.

- (1) 研究對象지역에 分布하고 있는 岩石
- (2) 같은 種類의 岩石이라도 넓게 分布하고 있는 地域의 岩石
- (3) 같은 種類의 岩石이라도 構成鑛物의 차이에 따른 岩石
- (4) 같은 種類의 岩石이라도 color가 다른 岩石
- (5) 같은 種類의 粘土鑛物이라도 品位가 다른 鑛物
- (6) 熱水變質作用의 영향을 받은지의 여부

이러한 事項을 고려하여 sampling한 岩石은 表面의 酸化, 不純物 및 表面狀態에 따른 영향을 最小化하기 위해 各 sampling 岩石을 Fig. 3에 表示한 것처럼 5 mm 內外로 粉碎시켜 測定對象物의 크기를 標準化시켰다.

分光反射測定에 使用한 對象岩石은 熱水變質作用에 의해서 生成된 陶石을 비롯해서 花崗岩, 花崗閃綠岩, 安山岩, 玢托나이트 沸石, 凝灰岩, 셰일 등이며 이들의 岩石學的 特徵은 Table 1과 같다.

3.2 標本岩石의 X線 廻折分析 및 特徵

研究對象地域에서 採取된 標本岩石들의 構成成分을 分光反射 測定結果와 對比하기 위하여 X線 廻折分析을 행하였는데 그 結果는 다음과 같다.

4個의 花崗岩類의 標品들은 石英보다 長石鑛物이 우세하나 標本岩石 16의 花崗岩은 다른 花崗岩類보다도 長石鑛物이 더욱 優勢하여 石英鑛物과 含有量이 거의 같은 것으로 나타났다. 또

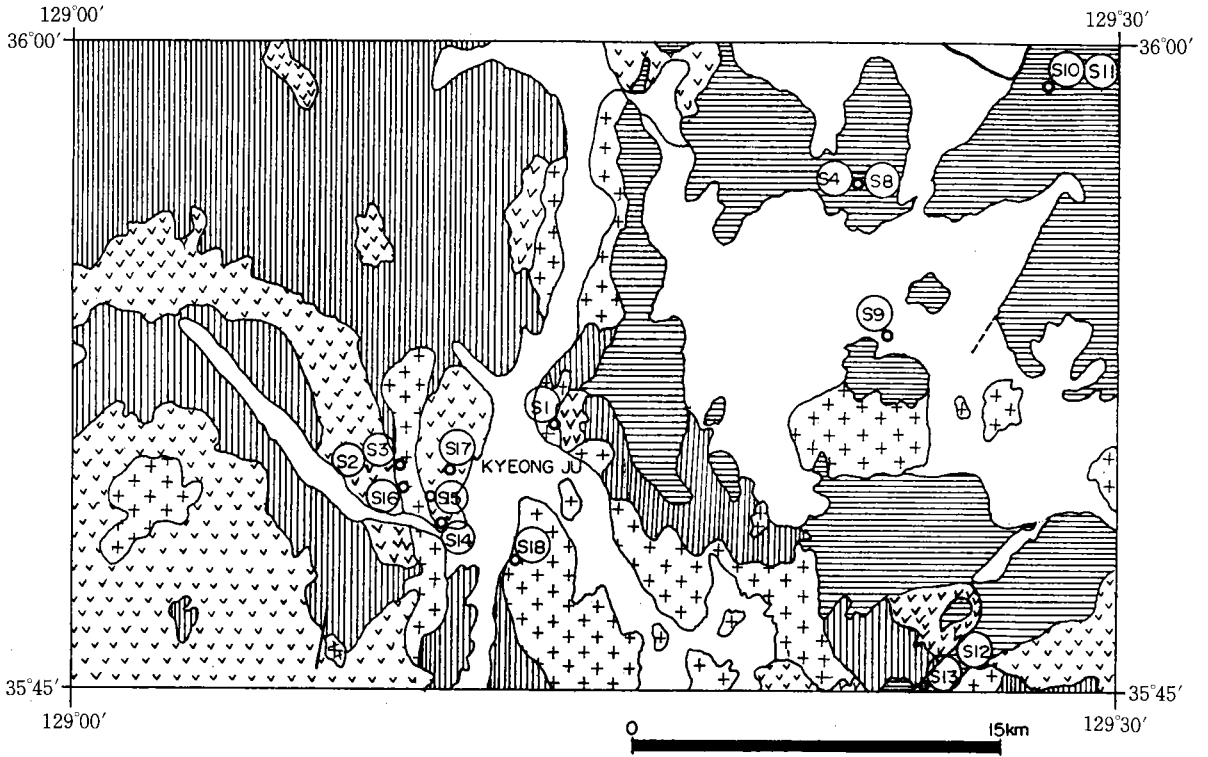


Fig. 2. Location map of rock samples.

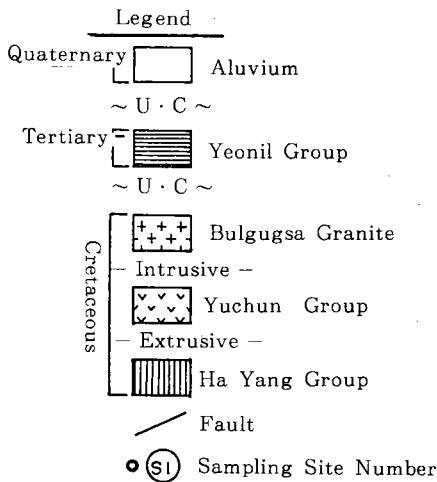


Table 1. Characteristics of rock samples

Sample No.	岩石名	特 徵	採取場所
1.	花崗岩	粗粒質이며 각섬석을 많이 포함하고 있다.	경주시 소금강산
2.	陶石	純白色이며, 石英이 肉眼으로 識別될 수 있고 高品位이다.	慶州陶石鑛山
3.	"	純白色이나 局部的으로 pinkish한 部分도 있으며 石英이 보인다.	上同
4.	凝灰岩	pale greenish gray color로 長石斑晶이 관찰된다.	迎日郡 烏川邑 가마골 벤토나이트 鑛山
5.	角礫質安山岩	gray color로 角礫은 安山岩이 대부분이다.	上同
6.	벤토나이트	pale gray로서 低品位이다.	上同
7.	벤토나이트	brown color를 보이며 表面에 不純物이 많이 있는 低品位 標本이다.	上同
8.	벤토나이트	gray color로서 標本6보다 色이 진하며 低品位이다.	上同
9.	斑狀安山岩	長石斑晶을 含有하고 있으며 gray color를 갖고 있다.	迎日郡 烏川邑 노루목
10.	벤토나이트	dark greenish gray의 低品位로, 長石을 많이 含有하고 있다.	迎日郡 東海面 石洞
11.	沸石	白色으로, 不純物이 있으나 비교적 高品位이다.	上同
12.	벤토나이트	pale greenish gray로 tuff처럼 보인다.	月城郡 陽南面 자북
13.	벤토나이트	pinkish brown color로 高品位이다.	上同
14.	세일	silicified되어 있으며 dary gray color를 보인다.	慶州市 孝峴洞 보무막
15.	花崗閃綠岩	中粒質粒자를 갖고 있으며 角閃石 등이 보인다. 標本 14와의 境界部에서 採取하였다.	慶州市 西岳洞 아외
16.	花崗岩	陶石과의 境界部에서 採取하였으며, 有色鑛物이 극히 적다.	慶州市 光明洞 陶石 鑛山
17.	凝灰岩	pale gray로 陶石鑛山附近에서 採取하였으며 熱水變質을 받은 것으로 보인다.	慶州市 西岳洞 山城
18.	花崗岩	風化를 받은 우백질 花崗岩으로 黑雲母가 많다. 中粒 내지 細粒質이다.	慶州市 南山

한, 標本岩石 18의 花崗岩은 다른 花崗岩類에 비해 雲母類 鑛物이 많은 것이 特徵이며, 肉眼觀察에 mafic mineral의 含有量이 적게 보이는 標本岩石 1과 16은 X線 廻折分析에서도 黑雲母 鑛物이 적게 나타난다. 그리고 標本岩石 15와 16의 花崗岩들에 montmorillonite나 kaolinite와 같은 粘土鑛物이 나타나는 것은 熱水變質作用을 받아 生成된 陶石鑛山附近에서 채취한 것으로, 이들도 部分的인 熱水變質作用을 받은 것으로 思料된다. 특히 標本岩石 16은 陶石鑛과의 境界線에서 채취한 것이다.

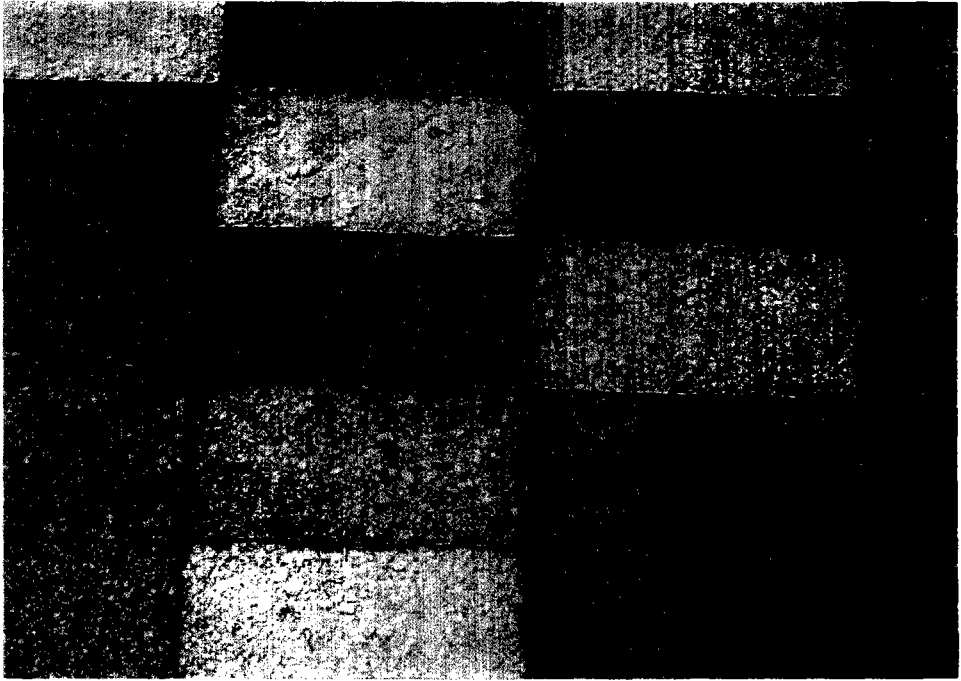


Fig. 3. Rock samples

標本岩石 2와 3은 陶石으로, 熱水變質作用에 의해 生成된 것으로 알려져 있는데 kaolinite와 같은 粘土鑛物이 나타나 있다.

標本岩石 4와 17은 凝灰岩으로, 標本 17은 montmorillonite나 kaolinite 같은 粘土鑛物이 많이 함유된 것으로 미루어 熱水變質作用을 받은 것으로 分析되어지며 標本 4의 岩石은 熱水變質과 전혀 관련이 없는 것으로 解析된다. 安山岩 標本 5와 9는 少量의 kaolinite가 含有되어 있어 熱水變質作用의 影響을 받았다고 할 수 있다. 특히 標本岩石 9는 5보다 長石이 많은데, 이는 肉眼觀察에 長石斑晶이 보이는 觀點과 一致한다. 벤토나이트 標本들은 色 및 品位가 각기 다르나, 長石鑛物이 石英鑛物보다 많이 함유하고 있다는 것이 共通의이다. montmorillonite는 標本 10, 12와 13이 가장 높아 標本 6, 7, 8보다 高品位임을 알 수 있다.

標本岩石 11은 沸石으로 熱水變質을 받은 것으로 推定되어진다. 벤토나이트나 陶石에 비해 長石, 石英이 적다.

4. 分光學的 檢討 및 測定方法

4.1 分光學的 檢討

一般的으로 研究에 使用한 HHRR와 같은 分光反射計는 有限의 視野(HHRR의 視野角은 12° 이다)밖에 갖고 있지 않기 때문에 反射面에 대해서 放射量은 照射의 方向, 觀測方向 등에 따라 변하며, 放射計에서 測定되어진 反射係數는 標品の 크기, 放射源과 物體의 거리 및 位置 등과 같은 幾何學的 條件에 따라서 달라지는데, 특히 照明方向을 規定한 反射係數를 二方向性 反射係數라 하는데 이들의 關係를 Fig. 4에 表示하였다. 本 研究에서는 $BaSO_4$ 를 塗付한 標準 白色板을 使用해 照明方向을 規定하여 二方向性 反射係數를 구하였다. 이것은 다음 式으로 定義되어진다.

$$d\rho(\theta_i, \phi_i; \theta_r', \phi_r') = \frac{dL_r'(\theta_r', \phi_r') \cos\theta_r' \cdot d\Omega_r'}{L(\theta_i, \phi_i) \cos\theta_i \cdot d\Omega_i}$$

여기에서 放射照度를 $dE(\theta_i, \phi_i)$ 라 한다면,

$$dE(\theta_i, \phi_i) = L(\theta_i, \phi_i) \cos\theta_i \cdot d\Omega_i$$

따라서

$$\begin{aligned} d\rho &= \frac{dL_r'(\theta_r', \phi_r') \cos\theta_r' \cdot d\Omega_r'}{dE_i(\theta_i, \phi_i)} \\ &= f(\theta_i, \phi_i; \theta_r', \phi_r') \cos\theta_r' \cdot d\Omega_r' \end{aligned}$$

二方向性 反射分布關數 $f(\theta_i, \phi_i; \theta_r', \phi_r')$ 는

$$f(\theta_i, \phi_i; \theta_r', \phi_r') = \frac{dL_r'(\theta_r', \phi_r')}{dE_i(\theta_i, \phi_i)} \text{ 이다.}$$

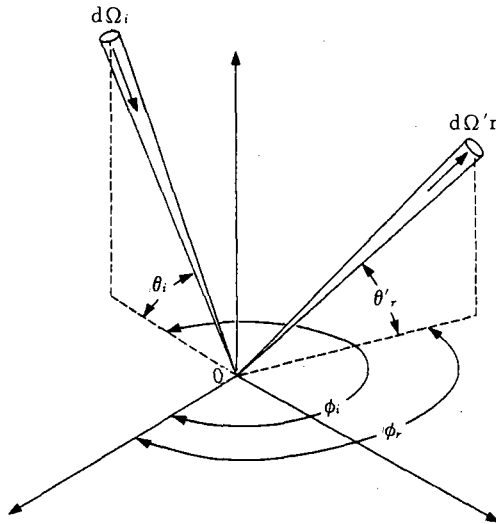


Fig. 4. The reflectance geometry of the quadivariate reflectance distribution function definition $f(\theta_i, \phi_i; \theta_r, \phi_r)$.

4.2 測定條件 및 方法의 標準化

本 研究에서는 ground truth 資料로써 野外에서 測定對象物의 分光反射率을 標準 白色板을 reference target로 해서 測定하였으나, 測定對象物이 完全擴散 反射體가 아니기 때문에 調査條件이 同一하다고 가정하여 反射率을 구하였다.

野外의 測定은 바람, 구름과 같은 天候, 太陽高度, 放射計와의 測定角度, 등의 影響으로 精度가 좋은 結果를 얻기 어렵고, 또한 이러한 變化要因을 全部 考慮해서 測定하기 어렵기 때문에 Emori(1985) 등은 data의 標準化를 위하여 다음과 같은 項目이 考慮되어야 한다고 報告하였다.

- (1) 計測法의 記述: 野外放射測定의 幾何(太陽高度, 觀測角), 計器의 特性(FOV, 分光感度特性, 測定精度 등), 測定對象의 光學特性의 明確한 規定
- (2) 測定條件의 記述: 구름의 狀態, 氣象條件, 經度, 緯度, 測定時間, 測定回數
- (3) 測定時에 있어서 對象物의 記述: 對象物의 幾何學의 狀況의 記述, 對象物의 種別의 記述, 對象物의 生物的, 化學的, 農業的 特性의 記述

그러나 data의 標準化에 가장 制限的인 要因은 分光反射計의 視野 및 分光感度이기 때문에 本 研究에서는 野外에서 測定時, data의 標準化를 위하여 다음과 같이 測定方法을 標準化하였다.

- (1) 太陽高度 - 高度 26°, 方位角 132°, (2) 測定角度: 垂直, (3) 雲量 및 雲의 種類 - 雲量이 25%

以內에서 測定, (4)分光反射計의 FOV-12°, (5)標準 白色板의 種類-fiberfrax에 BaSO₄를 塗付, (6)測定時刻-午前 11時, (7)測定時間-10~30秒, (8)測定回數-3回

또한, 本 研究에서는 地表의 環境要素의 複雜한 影響을 最少化시킬 수 있는 實驗室 內에서 測定方法의 標準化를 다음과 같이 行하였다.

즉, 測定方法을 標準化하기 위하여 室溫 20°C 濕度 70%의 텅그스텐 할로젠 光源을 使用하였다. 또한, 一定한 測定角度를 갖기 위해 光源을 映像處理에 使用된 LANDSAT가 走査한 條件과 같은 高度 26°, 方位角 132°의 位置에 設置하였고, HHRR의 位置는 測定對象物體의 眞上 1m에 설치하였으며, 使用된 標準 白色板은 fiberfrax에 耐久性 및 安定성이 뛰어난 BaSO₄를 塗付한 것이다.

測定에 使用된 HHRR은 野外 및 實驗室 內에서도 使用할 수 있으며, 2개의 回路에 各各 5개의 filter를 裝置할 수 있는 携帶用 分光反射計로 各 回路에서 얻어진 分光反射의 比도 구할 수 있다. 本 研究에서는 LANDSAT TM의 各 band 波長帶 領域과 같은 5개의 filter를 使用하였는데 使用된 filter의 分光特性은 Table 2와 같다.

Table 2. Spectral characteristics of the filters of HHRR used for the measurement and those of Landsat TM sensor

Parameter Sensor Band	Central Wavelength(nm)		Band width 1/2 peak(nm)		C.W. tolerance(±nm)	Peak transmittance(%)
	HHRR	Landsat TM	HHRR	Landsat TM	HHRR	HHRR
2	560	560	80	80	10	67
3	667	665	63	70	10	58
4	837	830	131	140	20	55
5	1,661.7	1,650	170	200	40	64
7	2,260	2,215	304	270	50	58

5. Principal Component Analysis(PCA)

本 技法은 次元의 減少와 獨立變量의 抽出에 주로 使用하고 있는데 本 研究에서는 研究對象 地域에 分布하고 熱水變質帶를 抽出하기 위하여 使用하였다.

principal component는 多數 band에 속한 data間에 共分散이 있을 경우 變量의 分散이 最大가 되게끔 結合의 係數를 구하는데, 이렇게 해서 구해진 線形結合值를 말한다.

本 研究에서는 LANDSAT TM band 중 熱赤外線 波長帶 band 6을 제외한 6개 band를 使用하여 principal component analysis를 行하였는데 그 統計值는 다음과 같다.

Results of principal component analysis

	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3	Comp. 4	Comp. 5	Comp. 6
Eigen values	4.6448	0.9852	0.2512	0.0745	0.0292	0.0150
Cumulative proportion of total variance	0.7741	0.9383	0.9802	0.9926	0.9975	1.0000
Eigen vectors						
B1	0.3995	-0.4761	-0.0017	-0.6251	0.4694	-0.0523
B2	0.4222	-0.3881	-0.1533	0.0357	-0.7408	-0.3122
B3	0.4317	-0.3011	-0.0297	0.7363	0.3364	0.2585
B4	0.3648	0.4859	-0.7668	-0.1206	0.0372	0.1637
B5	0.4016	0.4658	0.3346	0.1116	0.2053	-0.6747
B7	0.4259	0.2810	0.5250	-0.1973	-0.2722	0.5924
Correlation between variables and components						
B 1	0.8609	-0.4725	-0.0009	-0.1707	0.0803	-0.0064
B 2	0.9100	-0.3853	-0.0768	0.0097	-0.1267	-0.0382
B 3	0.9305	-0.2988	-0.0149	0.2010	0.0575	0.0316
B 4	0.7862	0.4823	-0.3844	-0.0329	0.0064	0.0200
B 5	0.8655	0.4623	0.1677	0.0305	0.0351	-0.0826
B 7	0.9179	0.2789	0.2632	-0.0539	-0.0466	0.0725

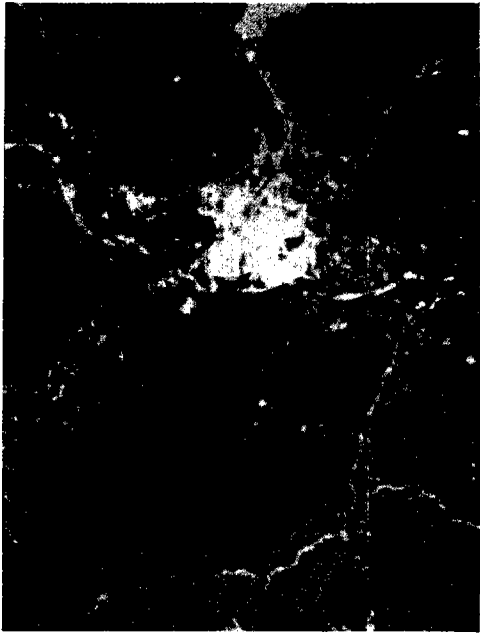
또한 Fig. 5는 研究對象地域에 대한 各 principal component analysis를 행한 出力映像으로 다음과 같은 特徵이 있다.

(A)는 2nd PCA image로서 可視光線 波長帶와 같은 映像으로 보이며, 특히 沖積層에 대한 解析과 陶石鑛山의 抽出에 有効하다. 全體적으로 1st PCA 映像의 negative image로서 나타난다.

(B)는 3rd PCA image로서 1st, 2nd PCA 映像보다 noise가 심하며 이 映像부터 data의 壓縮이 심하게 나타나고 있다. 특히 다른 映像보다 熱水變質帶로 보이는 部分이 白色으로 나타나며 露頭의 그것과도 區分된다. 이 部分은 分光反射率 測定을 위하여 採集된 標本岩石中 標本 2, 3의 陶石과 標本 18의 凝灰岩이 分布하고 있는 地域으로, Fig. 5에서 알 수 있는 것처럼 band 7의 吸收現像은 이들 地域의 熱水變質作用을 받은 것을 間接적으로 證明하고 있다.

(C)는 6th PCA image로 심한 data의 壓縮과 noise로 一般의 情報을 抽出하기에는 利用가치가 없다. 그러나 학교와 같은 建물을 抽出하는 데에는 有効하며 熱水變質帶로 보이는 陶石鑛山 北部의 沖積層이 가장 명확히 나타난다.

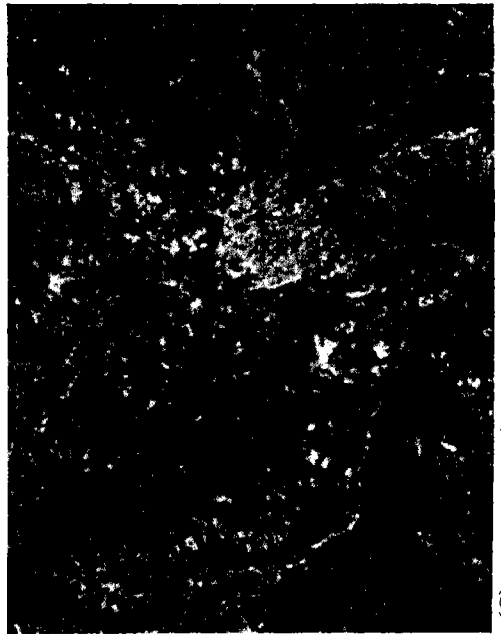
이와 같은 判讀 內容에 따라 6th, 3rd, 2nd PCA image를 使用하여 Fig. 5의 (D)에 表示한 것처럼 false color image를 作成하였다. 全體적으로 PCA 6이 入力되어 noise가 심하나, 陶石鑛山 및 그 周圍의 沖積層이 같은 color로 보여 주고 있는데 이것이 熱水變質帶로 보여진다.



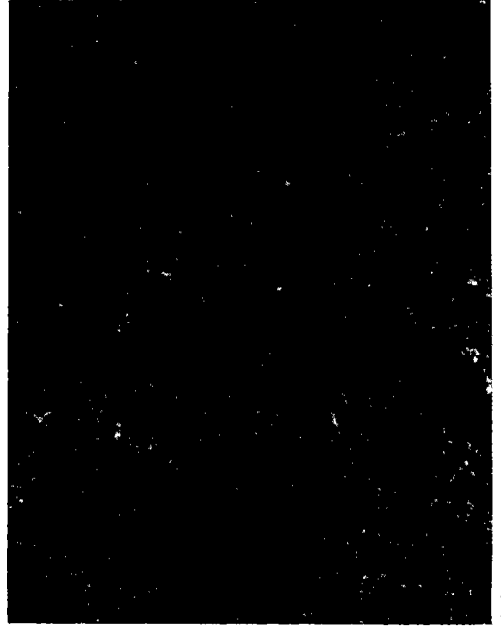
(A) 2nd principal component



(B) 3rd principal component



(C) 6th principal component



(D) 7th principal component analysis images.

6. 標本岩石의 分光反射率

本 研究에서는 各 岩石의 分光學的 特徵에 의해 熱水變質作用을 받은 岩石과 各 岩石의 種類를 區分할 수 있는 有效 波長帶를 찾아내기 위하여 LANDSAT TM 波長帶와 一致하는 channel 中 可視光線 波長帶의 band 2, 3과 赤外線 波長帶와 band 4, 5, 7을 使用하였다.

6.1 測定值의 特徵

採集한 各 標本岩石(1種類에 대해 3개)에 대한 測定值를 Table 3에 表示하였다. 標本岩石에 대한 測定值의 標準偏差가 가장 큰 것은 標本 1의 band 5와 標本 13의 band 7에서 標準偏差 5.8mV, range는 10mV이다. 그러나 이러한 值는 平均値에 대한 比로서는 작다. 즉, 最大가 約 2.1%로서 測定值의 變動으로서는 무시할 수 있으며, 比의 值가 1% 이하 度數는 全體 87%를 차지하고 있어, 同一種類의 標本岩石間에서 反射量의 變動은 아주 작다고 말할 수 있다.

標本岩石間의 變動을 비교하기 위하여 5個 band의 標準偏差 平均을 보면, 最大値는 標本 11에서 2.8mV, 最小値는 標本岩石 15에서 0.6mV이다. 또한, band間의 變動을 比較하면, 18個 標

Table 3. Statistics of measurements of spectral reflectance in unit of mV of 18 rock samples with HHRR

Sample No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
2	M	457	478	470	460	448	465	451	451	452	445	468	453	454	447	448	456	451	454
	SD	1.2	1.2	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0	1.2	0.6	0	0	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
	R	2	2	1	1	1	1	1	0	2	1	0	0	0	1	1	1	1	1
3	M	438	467	459	443	424	452	435	432	428	421	456	432	439	423	427	440	433	435
	SD	1.7	0	1.7	0.6	0.6	1.2	0.6	0.6	1.2	0	1.2	0.6	0.6	1.2	0.6	1.2	0	0
	R	3	0	3	1	1	2	1	1	2	0	2	1	1	2	1	2	0	0
4	M	362	401	381	378	298	392	377	360	322	305	389	332	297	295	317	351	365	363
	SD	5.8	2.9	3.5	2.3	1.2	2.9	1.7	2.9	2.3	1.7	4.1	3.5	2.3	4.6	1.2	2.9	2.9	2.9
	R	10	5	6	4	2	5	3	5	4	3	7	6	4	8	2	5	5	5
5	M	369	429	408	376	329	401	379	366	338	328	409	351	361	9	340	372	364	361
	SD	4.1	2.9	1.7	1.7	0.6	2.9	0.6	1.2	1.7	0.6	4.1	1.2	0.6	3.5	0	2.9	2.3	2.9
	R	7	5	3	3	1	5	1	2	3	1	7	2	1	6	0	5	4	5
7	M	368	382	373	375	295	372	356	352	318	300	348	315	278	334	345	333	341	360
	SD	0	1.7	4.1	2.9	1.7	4.1	1.2	3.5	2.9	1.7	4.6	4.1	5.8	4.6	0.6	4.1	2.3	4.6
	R	0	3	7	5	3	7	2	6	5	3	8	7	10	8	11	7	4	8

本岩石의 標準偏差 平均의 最大值는 band 7에서 3.0mV이고 最小値는 band 2에서 0.6mV이다. 특히 band間的의 變動値는 可視光線 波長帶보다 赤外線 波長帶에서 크게 나타나며, 같은 赤外線 波長帶에서도 band 4에서 적으며, band 7에서는 가장 크게 나타난다. 반면에 可視光線 波長帶에서도 band 3이 band 2보다 變動値가 크다.

6.2 分光反射率의 特徵

Fig. 6은 各 標本岩石의 分光反射率을 表示한 것인데, 다음과 같은 特徵이 있음을 分析할 수 있다.

本 研究地域에 分布하고 있는 岩石 中 熱水變質作用에 의해 生成된 代表的인 粘土鑛物인 陶石(標本 2, 3)은 各 band에서 다른 標本岩石보다 反射率이 높으며, 陶石 中에서도 pinkish한 表面을 갖고 있는 標本 3보다도 高品位로 있는 標本 2의 反射率이 모든 band에서 높다. 또한, 陶石標本들은 band 7에서 모두 강한 吸收를 나타내고 있는 特徵이 있다. 즉, 熱水變質作用을 받은 高品位의 蠟石鑛物은 모든 band에서 反射率이 제일 높았으며 band 7에서 강한 吸收가 일어났다. 各 標本の 品位 程度 및 色相에서 差異가 있는데, 이들 標本들 역시 陶石 標本처럼 band 7에서 모두 강한 吸收를 나타내고 있으며, 특히 X線 廻折分析에 나타난 것처럼 montmorillonite가 다른 bentonite 標本보다 많이 함유된 標本 10, 12 및 13岩石은 band 7에서 吸收現象이 比較的 강하게 나타나는데, 이는 montmorillonite가 $1.4\mu m$, $1.9\mu m$ 및 $2.2\mu m$ 波長帶에서 吸收現象을 나타내는 特性이 있기 때문이다(Hunt & Salisbury, 1970).

標本 6, 7, 8 岩石은 band 5에서 다른 bentonite 標本(10, 12, 13)보다 약한 反射現象이 일어나는 것이 特徵인데, 이는 低品位이기 때문이며, 標本 17의 凝灰岩은 band 7에서 吸收가 일어나지만 標本 3의 凝灰岩은 吸收現象을 보이고 있지 않다. 이는 X線 廻折分析에서 나타난 것처럼 標本 17에는 montmorillonite 및 kaolinite와 같은 粘土鑛物을 갖고 있고 標本 3은 粘土鑛物을 含有하고 있지 않기 때문이다.

특히 標本 17은 熱水變質作用을 받아 生成된 陶石(標本 2, 3) 鑛山 부근에서 채취한 것으로 강한 熱水變質作用을 받은 것으로 보인다. 특히 標本 4는 赤외波長帶 全域에서 아무런 變化가 없으며 標本 17도 band 5에서 變化가 없다.

標本 5, 9의 安山岩은 bentonite 鑛山 附近에서 채취한 것으로 band 7에서 거의 吸收現象이 일어나는데, 이는 熱水變質作用에 의해 生成된 montmorillonite, kaolinite와 같은 粘土鑛物을 含有하고 있기 때문에 分析되어진다.

花崗岩標本 1, 15, 16 및 18은 主 研究對象 地域에서 集中的으로 채취하였는데, 標本 16은 band 7에서 吸收現象이 강하게 일어나고 있다. 이는 陶石과의 境界線에서 채취하여 montmorillonite와 같은 粘土鑛物이 포함하기 때문에 X線 廻折分析에서도 證明되고 있다. 그 이외의 花崗岩 標本은 赤外線波長帶에서 變化를 나타내지 않고 있으며, band 7에서 吸收現象이 일어나고 있지

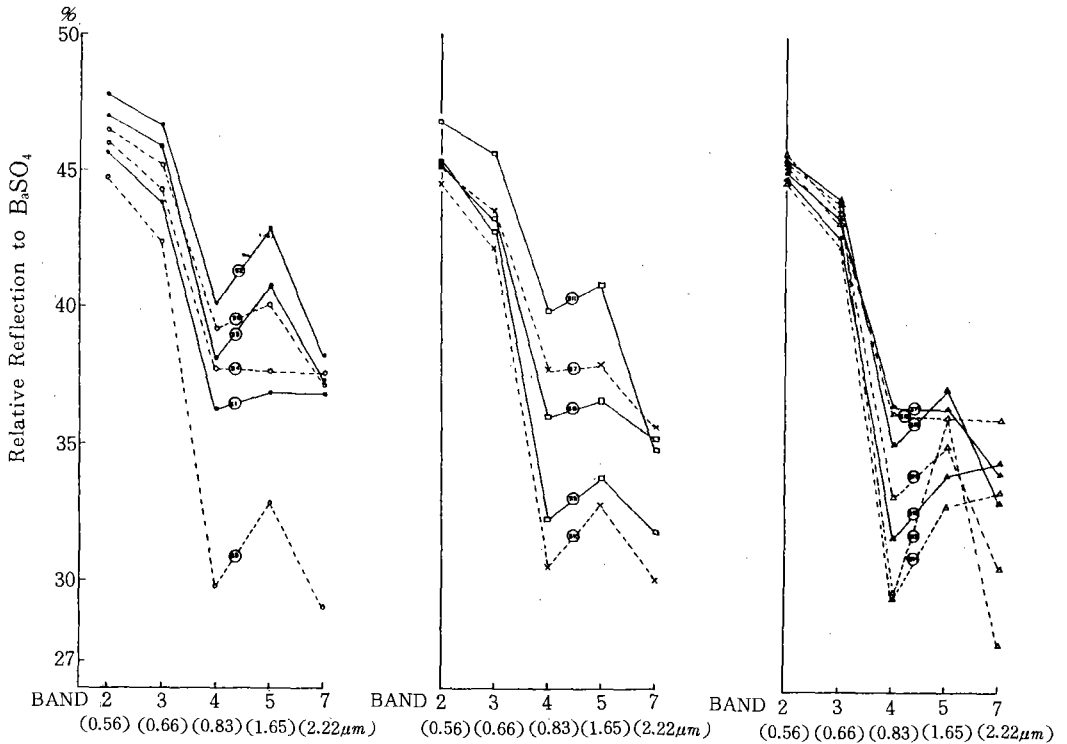


Fig. 6. Spectral reflectance of rock samples.

않다.

本 研究에서 채취한 標本岩石은 花崗岩類(標本 1, 15, 18), 凝灰岩(標本 4) 및 세일(標本 14) 등은 非變質岩으로 대체로 band 5에서 아무런 變化가 없으며, 특히 band 7에서 熱水變質岩石에서 볼 수 있는 吸收現象이 없다. 반면에 陶石(標本 2, 3), bentonite(標本 6, 7, 8, 10, 12, 13), 安山岩(標本 5, 9) 및 凝灰岩(標本 17) 標本들은 band 7에서 吸收現象이 나타나는데, 이는 熱水變質作用에 의해 生成된 OH基의 粘土礦物의 特性 때문이다.

本 研究를 위하여 採取한 標本 모두는 band 4에서 강한 吸收를 보이고 있는데, 이는 黃鐵石이 0.83 μm 帶에서 吸收가 일어나는 特性 때문이다.

같은 種類의 岩石이라도 高品位 및 低品位, 變質岩石 및 非變質岩石의 反射特性이 다르게 나타나는데, 陶石 및 花崗岩 標本에서 나타난 것처럼 대체로 高品位와 變質岩石이 低品位 및 非變質岩石보다 反射率이 높다.

7. 結 論

1. 本 研究地域에 分布하고 있는 陶石 및 bentonite와 같은 粘土鑛物은 LANDSAT TM의 band 7에서 吸收現象이 일어난다. 이는 熱水變質作用에 의해서 生成된 OH基의 粘土鑛物이 $2.22\mu m$ 에서 吸收가 일어나는 分光特性을 갖고 있기 때문이다.
2. 標本 3과 17은 凝灰岩으로, 標本 17만이 band 7에서 吸收가 일어나며, 花崗岩 標本 1, 15, 18 및 16의 4個 중 陶石鑛山 附近에서 採取한 標本 16은 熱水變質을 받아 band 7에서 吸收가 일어난다.
3. 同一岩石에서 低品位보다 高品位가, 그리고 非變質帶 岩石보다 變質帶 岩石의 反射率이 높다.
4. 變質帶 抽出을 위하여 principal component analysis 技法을 使用한 結果, 變質帶 抽出에는 2nd, 3rd, 6th principal component가 有效하며, 岩石의 區分에는 2nd princial component를 利用할 수 있으나 花崗岩類는 5th principal component가 有效하였다.
5. 鑛山帶 mapping을 위한 有效한 映像處理技法은 ratio(1986)와 principal component analysis 로써 岩石의 分光特性에 기반한 映像處理가 가장 效果의이다. 이 結果는 映像의 texture와 分光特性의 差異를 보여 준다.

參 考 文 獻

- 1) Hunt, G. R., and Ross, H. P., 1967. A bidirectional reflectance accessory for spectroscopic measurements. *Applied Optics*, Vol. 6, pp. 1687-1890.
- 2) Hunt, G. R., and Salisbury, J. W., 1970. Visible and near infrared spectra of minerals and rocks-I: Silicate minerals. *Modern Geology*, Vol. 1, pp. 283-300.
- 3) Hunt, G. R., and Salisbury, J. W., 1971. Visible and near infrared spectra of minerals and rocks-II: Carbonates, *Modern Geology*, Vol. 2, pp. 23-30.
- 4) Hunt, G. R., and Ashley, P. P., 1979. Spectra of altered rocks in the visible and near infrared. *Economic Geology*, Vol. 74, pp. 1613-1629.
- 5) Podwysoki, M.H., Segal, D.B. and Abrams, M.J., 1983. Use of Multispectral Scanner Images for assessment of hydrothermal alteration in Marysvale, Utah, Mining Area. *Economic Geology*, 78, pp. 674-687.
- 6) 國立地質調查所, 1971. 韓國地質圖(五萬分之一), 毛良圖幅 및 說明書.
- 7) 金鍾煥·姜必鍾·林正雄, 1976. LANDSAT-1 映像에 의한 嶺南地域 地質構造와 鑛床과의

關係研究. 地質學會誌, 第12卷, 第2號, pp. 79-89.

- 8) 文熙壽·柳長漢·金鍾煥, 1986. 三紀層分布地域의 벤트나이트 및 沸石鑛山에 대한 鑛物鑛床學的 研究(I). 韓國動力資源研究所, 非金屬鑛床 調查研究(II).
- 9) 智光薰, 姜必種, 土屋清, 1988. 韓國梁山 - 東萊斷層域變質帶地域의 岩石의 分光學的特性. 日本 Remote Sensing 學會誌, Vol. 8, No. 1, pp. 5-14.